



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1261.20—2017

---

## 电力变压器能源效率 计量检测规则

Rules of Metrology Testing for Energy Efficiency  
of Power Transformers

2017-09-26 发布

2018-03-26 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 电力变压器能源效率

## 计量检测规则

Rules of Metrology Testing for Energy

Efficiency of Power Transformers

JJF 1261.20—2017

代替 JJF 1261.20—2015

归口单位：全国法制计量管理计量技术委员会  
能效标识计量检测分技术委员会

主要起草单位：国家高电压计量站  
新疆维吾尔自治区计量测试研究院

参加起草单位：重庆市计量质量检测研究院  
河北省计量监督检测院  
特变电工股份有限公司  
保定天威保变电气股份有限公司

本规范委托全国法制计量管理计量技术委员会能效标识计量检测分技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

周 峰（国家高电压计量站）

殷小东（国家高电压计量站）

宋 伟（新疆维吾尔自治区计量测试研究院）

**参加起草人：**

王 锐（重庆市计量质量检测研究院）

李县法（河北省计量监督检测院）

贾贺强（特变电工股份有限公司）

卢冬宁（保定天威保变电气股份有限公司）



## 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 引用文件 .....	( 1 )
3 术语和计量单位 .....	( 1 )
3.1 电力变压器能效消耗量限定值 .....	( 1 )
3.2 空载损耗 .....	( 1 )
3.3 负载损耗 .....	( 1 )
3.4 短路阻抗 .....	( 2 )
3.5 能效等级 .....	( 2 )
4 概述 .....	( 2 )
5 计量要求 .....	( 2 )
5.1 能源效率标识标注 .....	( 2 )
5.2 能效指标 ( 能源消耗量 ) .....	( 3 )
5.3 能效等级 .....	( 9 )
6 检测条件 .....	( 9 )
6.1 环境条件 .....	( 9 )
6.2 检测设备 .....	( 9 )
6.3 测量不确定度 .....	( 10 )
7 检测项目和方法 .....	( 10 )
7.1 抽样原则和方法 .....	( 10 )
7.2 样本检测 .....	( 10 )
7.3 原始记录 .....	( 12 )
7.4 数据处理 .....	( 12 )
8 检测结果 .....	( 12 )
8.1 能效指标 ( 能源消耗量 ) 计量检测结果合格判据 .....	( 12 )
8.2 检测结果评定准则 .....	( 13 )
8.3 检测报告 .....	( 13 )
附录 A 电力变压器空载损耗测量方法 .....	( 15 )
附录 B 电力变压器负载损耗测量方法 .....	( 16 )
附录 C 电力变压器能源效率测量不确定度评定示例 .....	( 18 )
附录 D 电力变压器能源效率计量检测抽样单 ( 格式 ) .....	( 27 )
附录 E 电力变压器能源效率计量检测原始记录 ( 格式 ) .....	( 28 )
附录 F 电力变压器能源效率计量检测报告 ( 格式 ) .....	( 32 )

## 引 言

为了规范实行能源效率标识管理的电力变压器能源计量检测工作，依据 JJF 1261.1—2017《用能产品能源效率计量检测规则》的要求，制定本规范。

本规范代替 JJF 1261.20—2015，与 JJF 1261.20—2015 相比，除了编辑性修改外，主要变化如下：

——“5.1 能源效率标识标注”增加“能效信息码”和“能效‘领跑者’信息”等要求；

——原始记录格式和检测报告格式作相应修改（附录 E 和附录 F）。

本规范历次版本发布情况为：

——JJF 1261.20—2015。



# 电力变压器能源效率计量检测规则

## 1 范围

本规范适用于额定频率为 50 Hz、电压等级为 35 kV~220 kV、额定容量为 3 150 kVA 及以上的三相油浸式电力变压器的能源效率计量要求、计量检测程序、计量检测方法、计量检测结果评定准则和检测报告等内容。

本规范适用于电力变压器能源效率计量监督检测，委托检测可参考本规范进行。生产和销售电力变压器的单位亦可参照本规范进行检测。

接受检测的电力变压器应是生产者自检合格的产品，或者是销售者进口、销售的商品。本规范不适用于干式变压器、高阻抗变压器和充气式变压器。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1261.1—2017 用能产品能源效率计量检测规则

GB 1094.1—2013 电力变压器 第 1 部分：总则

GB/T 2829—2002 周期检验计数抽样程序及表（适用于对过程稳定性的检验）

GB 24790—2009 电力变压器能效限定值及能效等级

JB/T 501—2006 电力变压器试验导则

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语和计量单位

下列术语和计量单位适用于本规范。

3.1 电力变压器能效消耗量限定值 minimum allowable values of energy efficiency consumption for power transformer

在规定测试条件下，电力变压器空载损耗和负载损耗允许的最高限值，计量单位为 W。

3.2 空载损耗 no load loss

当额定频率的额定电压（分接电压），施加到一个绕组的端子，其他绕组开路时，所吸取的有功功率，计量单位为 kW。

3.3 负载损耗 load loss

在一对绕组中，当额定电流（分接电流）流经一个绕组的线路端子，且另一个绕组短路时，在额定频率及参考温度下所吸取的有功功率，计量单位为 kW。此时，其他绕组（如果有）应开路。试验测量的数据需修正到参考温度，对于油浸式变压器，其参考温度取 75 °C。

注：

1 对于双绕组变压器，只有一对绕组组合和一个负载损耗值。对于多绕组变压器，具有与多对

绕组组合相应的多个负载损耗值。整台变压器的总负载损耗值与某一指定的绕组负载组合相对应。通常它不能在试验中直接测出。

2 当绕组组合对中，两个绕组的额定容量不同时，其负载损耗以额定容量小的那个绕组中的额定电流为基准，而且应指出参考容量。

### 3.4 短路阻抗 short-circuit impedance

在额定频率和参考温度下，一对绕组中某一绕组端子之间的等效串联阻抗  $Z = R + jX(\Omega)$ 。确定此值时，另一绕组的端子短路，而其他绕组（如果有）应开路。对于三相变压器，表示为每相的阻抗（等值星形联结）。

注：

1 对于带分接绕组的变压器，是指指定分接位置上。如无另外规定，是指主分接。

2 此参数可用无量纲的相对值表示，即表示对该对绕组中同一绕组的参考阻抗  $Z_{\text{ref}}$  的分数值  $z$ 。用百分数表示。

$$z = 100\% \times \frac{Z}{Z_{\text{ref}}}$$

$$Z_{\text{ref}} = \frac{U^2}{S_r}$$

式中：

$U$ —— $Z$  和  $Z_{\text{ref}}$  所属的绕组的电压（额定电压或分接电压），V；

$S_r$ ——额定容量基准值，kVA；

$Z_{\text{ref}}$ ——绕组的参考阻抗， $\Omega$ ；

$Z$ ——绕组端子之间的等效串联阻抗， $\Omega$ 。

### 3.5 能效等级 energy efficiency grade

表示电力变压器产品能源效率指标高低的一种分级方法，其中1级能源效率等级最高，3级能源效率等级最低。

## 4 概述

电力变压器是实行能源效率标识管理的用能产品。电力变压器是具有两个或多个绕组的静止设备，为了传输电能，在同一频率下，通过电磁感应将一个系统的交流电压和电流转换为另一个系统的电压和电流，通常这些电流和电压的值是不同的。

## 5 计量要求

### 5.1 能源效率标识标注

电力变压器的显著位置应正确使用能源效率标识。标识应当悬挂、粘贴或固定在电力变压器明显部位。能源效率标识标注的信息应包括生产者名称（或简称）、产品规格型号、能效等级、空载损耗（kW）、负载损耗（75℃）（kW）和依据的能源效率强制性国家标准编号、能效信息码和能效“领跑者”信息等内容。

能源效率标识的样式应符合电力变压器能源效率标识标注的要求，计量单位的标注应符合国家法定计量单位的要求。

注：能效“领跑者”信息仅针对列入国家能效“领跑者”目录的产品。

## 5.2 能效指标（能源消耗量）

## 5.2.1 短路阻抗

电力变压器的短路阻抗实测值应符合 GB 24790—2009 的要求，其实测值偏差应满足 GB 1094.1—2013 要求，如表 1 所示。

表 1 短路阻抗实测值偏差要求

1	a) 有两个独立绕组的变压器；或 b) 多绕组变压器中规定的第一对独立绕组	主分接	当阻抗值 $\geq 10\%$ 时， $\pm 7.5\%$ 当阻抗值 $< 10\%$ 时， $\pm 10\%$
		其他分接	当阻抗值 $\geq 10\%$ 时， $\pm 10\%$ 当阻抗值 $< 10\%$ 时， $\pm 15\%$
2	a) 自耦联结的一对绕组；或 b) 多绕组变压器中规定的第二对绕组	主分接	规定值的 $\pm 10\%$
		其他分接	设计值的 $\pm 10\%$
3	其他绕组对		按协议，但绝对值不小于 $15\%$

## 5.2.2 空载损耗

电力变压器的空载损耗标注值应符合 GB 24790—2009 对空载损耗限定值的要求。空载损耗限定值为表 2~表 14 中的能效等级 3 级对应的空载损耗值。空载损耗实测值应不大于限定值且不大于标注值。

## 5.2.3 负载损耗

电力变压器的负载损耗标注值应符合 GB 24790—2009 对负载损耗限定值的要求。负载损耗限定值为表 2~表 14 中的能效等级 3 级对应的负载损耗值。负载损耗实测值应不大于限定值且不大于标注值。

表 2 35 kV 油浸式三相双绕组无励磁调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
3 150	3.7	3.3	3.0	25.0	24.5	24.3	7.0
4 000	4.4	3.9	3.6	29.6	29.0	28.8	
5 000	5.3	4.6	4.3	33.9	33.3	33.0	
6 300	6.4	5.6	5.2	37.9	37.2	36.8	7.5
8 000	8.8	7.7	7.1	41.6	40.8	40.4	
10 000	10.6	9.3	8.6	49.0	48.1	47.6	
12 500	12.3	10.7	10.0	58.2	57.1	56.6	8.0
16 000	14.8	12.9	12.0	71.1	69.8	69.2	
20 000	17.5	15.3	14.2	85.9	84.3	83.5	
25 000	20.7	18.1	16.8	101.6	99.7	98.8	
31 500	24.6	21.5	19.9	121.9	119.7	118.5	

表 3 35 kV 油浸式三相双绕组有载调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
3 150	4.0	3.5	3.2	26.7	26.2	26	7.0
4 000	4.7	4.1	3.8	31.5	30.9	30.7	
5 000	5.7	5.0	4.6	37	36.3	35.9	
6 300	6.9	6.0	5.6	39.7	39	38.6	7.5
8 000	9.6	8.4	7.8	43.9	43.1	42.7	
10 000	11.3	9.9	9.2	51.9	51.0	50.5	
12 500	13.3	11.6	10.8	61.4	60.3	59.7	8.0
16 000	16	14	13	76	74.6	73.9	
20 000	18.9	16.5	15.4	89.4	87.8	87.0	

表 4 66 kV 油浸式三相双绕组无励磁调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
3 150	5.0	4.4	4.1	25.0	24.5	24.3	8.0
4 000	5.9	5.1	4.8	29.6	29	28.8	
5 000	7.0	6.1	5.7	33.3	32.7	32.4	
6 300	9.0	7.8	7.3	37	36.3	35.9	9.0
8 000	10.9	9.5	8.9	43.9	43	42.6	
10 000	12.9	11.2	10.4	51.7	50.8	50.3	
12 500	15.2	13.3	12.3	61.4	60.3	59.7	
16 000	18.3	16	14.8	75.5	74.1	73.4	
20 000	21.4	18.7	17.4	91.5	89.8	88.9	
25 000	25.3	22.1	20.5	108.1	106.1	105.1	
31 500	30.0	26.2	24.3	130.2	127.8	126.6	
40 000	35.8	31.2	29.0	152.8	150	148.6	
50 000	42.8	37.3	34.7	189.3	185.8	184.1	
63 000	50.6	44.1	41.0	228.1	223.9	221.8	

表 5 66 kV 油浸式三相双绕组有载调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
6 300	9.8	8.5	7.9	37.0	36.3	35.9	9.0
8 000	11.7	10.2	9.5	43.9	43.0	42.6	
10 000	13.8	12.1	11.2	51.7	50.8	50.3	

表 5 (续)

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
12 500	16.4	14.3	13.3	61.4	60.3	59.7	9.0
16 000	19.7	17.2	15.9	75.5	74.1	73.4	
20 000	23.4	20.4	18.9	91.5	89.8	88.9	
25 000	27.6	24.1	22.4	108.1	106.1	105.1	
31 500	32.8	28.6	26.6	130.2	127.8	126.5	
40 000	39.2	34.2	31.8	152.8	150.0	148.6	
50 000	46.3	40.4	37.5	189.3	185.8	184.1	
63 000	54.7	47.7	44.3	228.1	223.9	221.8	

表 6 110 kV 油浸式三相双绕组无励磁调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
6 300	9.1	7.9	7.4	37.0	36.3	35.9	10.5
8 000	10.9	9.5	8.9	46.2	45.4	44.9	
10 000	12.9	11.2	10.4	54.4	53.4	52.9	
12 500	15.2	13.3	12.3	64.7	63.5	62.9	
16 000	18.3	16.0	14.8	79.0	77.6	76.8	
20 000	21.4	18.7	17.4	95.5	93.7	92.8	
25 000	25.3	22.1	20.5	112.9	110.8	109.8	
31 500	30.0	26.2	24.3	136.5	134.0	132.7	
40 000	35.8	31.2	29.0	160.1	157.1	155.6	
50 000	42.8	37.3	34.7	199.1	195.4	193.6	
63 000	50.6	44.1	41.0	240.1	235.7	233.5	12~14
75 000	57.4	50.1	46.5	285.3	280	277.3	
90 000	66.1	57.7	53.6	328.4	322.3	319.2	
120 000	82.5	71.9	66.8	407.4	399.8	396.0	
150 000	97.4	85.0	78.9	484.3	475.3	470.9	
180 000	109.4	95.4	88.6	545.9	535.8	530.7	

表 7 110 kV 油浸式三相双绕组低压为 35 kV 无励磁调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
6 300	9.8	8.5	7.9	40.1	39.4	39.0	10.5
8 000	11.7	10.2	9.5	48.3	47.4	47.0	
10 000	13.6	11.9	11.1	56.5	55.5	55.0	
12 500	16	13.9	13.0	67.8	66.5	65.9	
16 000	19.0	16.7	15.5	83.2	81.7	80.9	
20 000	22.6	19.8	18.3	101.7	99.8	98.8	
25 000	26.7	23.2	21.6	119.1	116.8	115.7	
31 500	31.6	27.5	25.6	143.7	141.0	139.7	
40 000	37.5	32.8	30.4	168.3	165.2	163.6	
50 000	45	39.3	36.4	209.3	205.5	203.5	
63 000	53.1	46.4	43.0	251.5	246.8	244.5	

表 8 110 kV 油浸式三相三绕组无励磁调压变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%	
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	升压	降压
6 300	10.9	9.5	8.9	48.3	47.4	46.9	高-中 17.5~ 18.5 高-低 10.5 17.5~ 18.5 中-低 6.5	高-中 10.5 高-低 17.5~ 18.5 中-低 6.5
8 000	13.0	11.3	10.5	57.5	56.4	55.9		
10 000	15.4	13.4	12.5	67.8	66.5	65.9		
12 500	17.9	15.6	14.5	80.1	78.6	77.8		
16 000	21.8	19.0	17.7	97.5	95.7	94.8		
20 000	25.7	22.4	20.8	114.9	112.8	111.8		
25 000	30.0	26.2	24.3	136.5	134	132.7		
31 500	35.8	31.2	29.0	161.1	158.1	156.6		
40 000	42.4	37.0	34.4	193.9	190.4	188.6		
50 000	50.6	44.1	41	230.9	226.6	224.5		
63 000	59.9	52.3	48.5	277.1	271.9	269.4		

表 9 110 kV 油浸式三相双绕组有载调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
6 300	9.8	8.5	7.9	37	36.3	35.9	10.5
8 000	11.7	10.2	9.5	46.2	45.4	44.9	
10 000	13.8	12.1	11.2	54.4	53.4	52.9	
12 500	16.4	14.3	13.3	64.7	63.5	62.9	
16 000	19.7	17.2	15.9	79.0	77.6	76.8	
20 000	23.4	20.4	18.9	95.5	93.7	92.8	

表 9 (续)

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
25 000	27.6	24.1	22.4	112.9	110.8	109.8	10.5
31 500	32.9	28.7	26.7	136.5	134	132.7	
40 000	39.3	34.3	31.9	160.1	157.1	155.6	
50 000	46.5	40.6	37.7	199.1	195.4	193.6	
63 000	55.2	48.2	44.8	240.1	235.7	233.5	

表 10 110 kV 油浸式三相三绕组有载调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
6 300	11.7	10.2	9.5	48.3	47.4	46.9	高-中 10.5 高-低 17.5~18.5 中-低 6.5
8 000	14.0	12.2	11.4	57.5	56.4	55.9	
10 000	16.7	14.5	13.5	67.8	66.5	65.9	
12 500	19.7	17.2	15.9	80.1	78.6	77.8	
16 000	23.6	20.6	19.1	97.5	95.7	94.8	
20 000	27.8	24.3	22.6	114.9	112.8	111.8	
25 000	32.9	28.7	26.7	136.5	134.0	132.7	
31 500	39.1	34.1	31.7	161.1	158.1	156.6	
40 000	46.9	40.9	38.0	193.9	190.4	188.6	
50 000	55.3	48.3	44.8	230.9	226.6	224.5	
63 000	65.8	57.4	53.3	277.1	271.9	269.4	

表 11 220 kV 油浸式三相双绕组无励磁调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/ %
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
31 500	34.1	29.7	27.6	138.5	136.0	134.7	12~14
40 000	39.9	34.8	32.3	161.1	158.1	156.6	
50 000	47.7	41.6	38.6	194.0	190.4	188.6	
63 000	56.4	49.2	45.7	225.8	221.6	219.5	
75 000	65.2	56.9	52.8	256.5	251.8	249.4	
90 000	74.9	65.3	60.7	295.5	290.1	287.3	
120 000	91.4	79.7	74.1	354.0	347.5	344.2	
150 000	108.9	95.0	88.2	415.6	407.9	404.0	
160 000	113.8	99.3	92.2	436.1	428.0	424.0	
180 000	124.5	108.6	100.8	471.0	462.2	457.9	
240 000	155.6	135.7	126.0	581.8	571	565.6	
300 000	183.7	160.3	148.9	692.6	679.8	673.4	

表 11 (续)

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/ %
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
360 000	211	184.1	170.9	794.2	779.5	772.1	12~14
370 000	214.8	187.4	174.1	810.6	795.6	788.1	
400 000	227.5	198.5	184.3	858.8	842.9	834.9	
420 000	235.3	205.3	190.6	890.6	874.1	865.9	

表 12 220 kV 油浸式三相三绕组无励磁调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%	
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	升压	降压
31 500	38.9	34.0	31.5	166.2	163.2	161.6	高-中 22~24 高-低 12~14 中-低 7~9	高-中 12~14 高-低 22~24 中-低 7~9
40 000	46.7	40.7	37.8	193.9	190.4	188.6		
50 000	54.5	47.5	44.1	230.9	226.6	224.5		
63 000	64.2	56.0	52.0	267.8	262.9	260.4		
90 000	83.6	73.0	67.8	360.2	353.5	350.2		
120 000	103.1	89.9	83.5	443.3	435.1	431.0		
150 000	121.5	106	98.5	526.4	516.6	511.8		
180 000	138.1	120.5	111.9	600.2	589.1	583.6		
240 000	171.1	149.3	138.6	738.8	725.1	718.2		
300 000	202.2	176.4	163.8	872.1	856	847.9		

表 13 220 kV 油浸式三相双绕组有载调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%	
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级		
31 500	37.0	32.3	30	138.5	136	134.7	12~14	
40 000	43.8	38.2	35.5	161.1	158.1	156.6		
50 000	52.5	45.8	42.6	193.9	190.4	188.6		
63 000	61.3	53.5	49.6	225.8	221.6	219.5		
90 000	77.8	67.9	63	295.5	290.1	287.3		
120 000	96.3	84.0	78.0	355	348.5	345.2		
150 000	112.8	98.4	91.4	415.6	407.9	404.0		
180 000	131.3	114.5	106.3	480.2	471.3	466.9		
120 000	低压 66 kV、 69 kV	99.2	86.5	387	364.3	357.5		354.2
150 000		116.7	101.8	452.4	425.8	417.9		414
180 000		136.1	118.8	517.8	487.4	478.4		473.8

表 14 220 kV 油浸式三相三绕组有载调压电力变压器能效等级

额定容量 kVA	空载损耗/kW			负载损耗 (75 °C) /kW			短路阻抗/%
	3 级	2 级	1 级	3 级	2 级	1 级	
31 500	42.8	37.3	34.7	166.2	163.2	161.6	高-中 12~14 高-低 22~24 中-低 7~9
40 000	50.6	44.1	41.0	193.9	190.4	188.6	
50 000	58.4	50.9	47.3	230.9	226.6	224.5	
63 000	68.1	59.4	55.2	267.8	262.9	260.4	
90 000	89.5	78.1	72.5	360.2	353.5	350.2	
120 000	111.8	97.6	90.6	443.3	435.1	431.0	
150 000	131.3	114.5	106.3	526.4	516.6	511.8	
180 000	151.7	132.3	122.9	646.4	634.4	628.5	
240 000	187.6	163.7	152	800.3	785.5	778.1	

### 5.3 能效等级

电力变压器使用的能源效率标识标注的能效等级应符合 GB 24790—2009 对能效等级的要求，电力变压器的能效等级指标见表 2~表 14。

根据电力变压器空载损耗和负载损耗实测值确定的能效等级应不低于标注的能效等级。

## 6 检测条件

### 6.1 环境条件

- 6.1.1 环境温度：(5~40)°C。
- 6.1.2 相对湿度：40%~75%。
- 6.1.3 大气压强：(86~106) kPa。
- 6.1.4 海拔：海拔不超过 1 000 m。

### 6.2 检测设备

#### 6.2.1 检测环境

电力变压器损耗测量装置应符合 GB 1094.1—2013 的有关要求并满足样本测量需求。

##### a) 电源电压的波形

电源电压的波形应近似于正弦波。即畸变波形中的总谐波含量不大于 5%，偶次谐波含量不大于 1%。负载电流总谐波含量不超过额定电流的 5%。

##### b) 三相电源电压对称

对于三相变压器，一组三相电源电压应近似对称。近似对称意味着连续的最高相间电压与最低相间电压之差不大于 1%，或在异常的短期（30 min 以内）情况下，不大于 2%。

#### 6.2.2 电气测量仪表

##### 6.2.2.1 电压互感器

- a) 额定一次电压：(0~220) kV。
- b) 准确度：0.01 级。

##### 6.2.2.2 电流互感器

- a) 额定一次电流：(0~1 200) A。
- b) 准确度：0.01 级。
- 6.2.2.3 直流电阻测试仪
  - a) 测量范围：(0.1~1 000)  $\Omega$ 。
  - b) 准确度：0.2 级。
- 6.2.2.4 功率测量仪器
  - a) 电压测量范围：(0.1~1 000) V。
  - b) 准确度：0.01 级。
  - c) 电流测量范围：(0.001~100) A。
  - d) 准确度：0.01 级。
  - e) 功率因数范围：0~1。
  - f) 最大允许误差： $\pm 0.02\%$  ( $PF > 0.5$ )， $\pm 0.02\%/2PF$  ( $PF \leq 0.5$ )。
- 6.2.3 温度测量仪表
  - a) 温度测量范围：(0.01~100)  $^{\circ}\text{C}$ 。
  - b) 最大允许误差： $\pm 0.2$   $^{\circ}\text{C}$ 。
  - c) 分辨力：0.01  $^{\circ}\text{C}$ 。
- 6.2.4 电力变压器能源效率测量装置及其测量仪表均应具有有效的检定或校准证书。
- 6.3 测量不确定度
  - 6.3.1 空载损耗检测结果的相对扩展不确定度  $U_{\text{rel}}(P_0)$  应优于 0.40% ( $k=2$ )。
  - 6.3.2 负载损耗检测结果的相对扩展不确定度  $U_{\text{rel}}(P_{k75})$  应优于 0.25% ( $k=2$ )。
  - 6.3.3 短路阻抗检测结果的相对扩展不确定度  $U_{\text{rel}}(Z_{kr})$  应优于 0.20% ( $k=2$ )。

## 7 检测项目和方法

### 7.1 抽样原则和方法

电力变压器的计量检测样本应在生产者自检合格的产品或者是从销售领域的商品中随机抽取。

对检测批计量检测的，按 GB/T 2829—2002 中一次抽样方案抽取样本。在生产企业成品仓库内或生产线末端抽样时，批量原则上应不少于 4 台。随机抽样的样本量 4 台，其中 2 台用于检测，另 2 台用作备用样本。

对样本计量检测的，在生产企业成品仓库内或生产线末端抽样时，批量不少于 4 台。随机抽样的样本量为 2 台，其中 1 台用于检测，另 1 台用作备用样本。在销售领域抽样时，批量应不少于 2 台，抽样的样本量为 2 台，其中 1 台用于检测，另 1 台用作备用样本。抽样时应填写电力变压器能源效率计量检测抽样单（抽样单格式见附录 D）。

### 7.2 样本检测

#### 7.2.1 标识标注的检查

根据 5.1 的要求对电力变压器使用的能源效率标识标注进行检查。

#### 7.2.2 能效等级（能源消耗量）检测

##### 7.2.2.1 测量准备

电力变压器注入油后，至少 3 h 不励磁，才可测量油体平均温度（绕组温度被认为与油体平均温度相同）。顶层油体温度与底部油体温度的平均值，作为油体平均温度。

绕组的温度应与绕组电阻同时测量，绕组温度由置于有代表性位置（最好置于绕组

内，如高压绕组与低压绕组间的通道内）的传感器测量。

### 7.2.2.2 测量方法

电力变压器空载损耗、负载损耗和短路阻抗的测量应按照本规范规定的方法进行。

#### a) 空载损耗的测量

按附录 A 进行测量，并用公式 (1) 和 (2) 计算电力变压器的空载损耗。

$$P_m = \sqrt{3} K_U U K_I I \cos \varphi \quad (1)$$

$$P_0 = P_m (1 + d) \quad (2)$$

式中：

$d = \frac{U_{\text{平均}} - U_{\text{方根}}}{U_{\text{平均}}}$ ， $U_{\text{平均}}$  为电压平均值， $U_{\text{方根}}$  为电压方均根值；

$P_m$  ——未校准的电力变压器空载损耗，W；

$P_0$  ——校准后的电力变压器空载损耗，W；

$K_U$  ——电压互感器的变比；

$U$  ——测得的二次线电压，V；

$K_I$  ——电流互感器的变比；

$I$  ——测得的二次线电流，A；

$\varphi$  ——试验时变压器的功率因数角。

#### b) 负载损耗的测量

按附录 B 进行测量，并用公式 (3) 和 (4) 计算电力变压器负载损耗。

$$P_{kt} = \sqrt{3} K_U U K_I I \cos \varphi \times \left( \frac{I_r}{K_I I} \right)^2 \quad (3)$$

$$P_{k75} = \frac{P_{kt} + (K^2 - 1) \times \sum I_r^2 R_t}{K} \quad (4)$$

铜绕组

$$K = \frac{235 + 75}{235 + t}$$

铝绕组

$$K = \frac{225 + 75}{225 + t}$$

式中：

$P_{k75}$  ——油浸式变压器参考温度 75 °C 时的负载损耗，W；

$P_{kt}$  ——温度为  $t$  (°C) 时的负载损耗，W；

$I_r$  ——施加电压侧的额定电流，A；

$K$  ——电阻温度换算系数；

$t$  ——绕组温度，°C；

$\sum I_r^2 R_t$  ——温度为  $t$  (°C) 时的直流电阻损耗，W。

#### c) 短路阻抗的测量

短路阻抗测量时应以三相电流的算术平均值为准，如果试验电流无法达到额定电流，短路阻抗应折算并修正到参考温度，用公式 (5) 和 (6) 计算。

$$Z_{kt} = \frac{U_{kt}}{U_r} \times \frac{I_r}{I_k} \times 100\% \quad (5)$$

$$Z_k = \sqrt{Z_{kt}^2 + \left( \frac{P_{kt}}{10 S_r} \right)^2 \times (K_t^2 - 1)} \quad (6)$$

式中：

$Z_{kt}$  ——绕组温度为  $t$  (°C) 时的短路阻抗，%；

$U_{kt}$  ——绕组温度为  $t$  (°C) 时通过试验电流  $I_k$  的短路电压，V；

$U_r$  ——施加电压侧的额定电压，V；

$I_r$  ——施加电压侧的额定电流，A；

$I_k$  ——施加电压侧的试验电流，A；

$Z_k$  ——参考温度时的短路阻抗，%；

$P_{kt}$  ——温度为  $t$  (°C) 时的负载损耗，W；

$S_r$  ——额定容量，VA；

$K_t$  ——电阻温度换算系数。

### 7.2.3 能效等级的确定

根据电力变压器空载损耗和负载损耗的实测值，按 5.3 的要求确定电力变压器的能效等级。

### 7.3 原始记录

计量检测的原始记录应包含电力变压器能源效率计量检测所要求的必要信息，记录中列出的项目应准确填写。观测结果、数据和计算应在检测时予以记录。记录应包括检测执行人员和结果核验人员的签名（原始记录格式见附录 E）。

### 7.4 数据处理

按本规范规定的计量检测要求测量和计算电力变压器的空载损耗、负载损耗和短路阻抗，按以下要求进行数据修约。

- a) 空载损耗保留两位小数，计量单位为 kW；
- b) 负载损耗保留两位小数，计量单位为 kW；
- c) 短路阻抗保留一位小数，一般用百分数表示。

## 8 检测结果

### 8.1 能效指标（能源消耗量）计量检测结果合格判据

#### 8.1.1 合格判据原则

空载损耗、负载损耗和短路阻抗的计量检测结果的合格评定考虑测量不确定度的影响，其合格评定采用宽限判据原则。采用宽限判据时，空载损耗和负载损耗的标注值（下限值、上限值、限定值）有效位数按增加一位处理。

#### 8.1.2 合格判据

8.1.2.1 空载损耗计量检测结果的合格评定考虑测量不确定度  $U(P_0)$  ( $k=2$ ) 的影响，实测值位于下述区间的判定为合格：

$$\begin{aligned} & \text{实测值} \leq \text{标注值} + U(P_0), \text{ 且} \\ & \text{实测值} \leq \text{限定值} + U(P_0) \end{aligned}$$

式中： $U(P_0)$  ——空载损耗的扩展不确定度。

8.1.2.2 负载损耗计量检测结果的合格评定考虑测量不确定度  $U(P_{k75})$  ( $k=2$ ) 的影响，实测值位于下述区间的判定为合格：

$$\begin{aligned} & \text{实测值} \leq \text{标注值} + U(P_{k75}), \text{ 且} \\ & \text{实测值} \leq \text{限定值} + U(P_{k75}) \end{aligned}$$

式中： $U(P_{k75})$  ——已修正到参考温度的负载损耗的扩展不确定度。

8.1.2.3 短路阻抗计量检测结果的合格评定不考虑测量不确定度  $U(Z_{kr})$  ( $k=2$ ) 的影响, 实测值位于下述区间的判定为合格:

$$\text{限定值} \times (1 - \text{偏差}) \leq \text{实测值} \leq \text{限定值} \times (1 + \text{偏差})$$

式中: 偏差范围详见表 1 的短路阻抗实测值偏差要求。

## 8.2 检测结果评定准则

### 8.2.1 能源效率标识标注评定准则

能源效率标识标注出现下列情况之一的, 评定为标注不合格。

- a) 未在电力变压器的显著位置粘贴能源效率标识的;
- b) 未按规定标识样式和内容进行标注的;
- c) 未按规定要求正确使用国家法定计量单位的。

### 8.2.2 能效指标 (能源消耗量) 评定准则

#### 8.2.2.1 空载损耗评定准则

空载损耗标注值和实测值不符合 8.1.2.1 规定的, 评定为空载损耗不合格。

#### 8.2.2.2 负载损耗评定准则

负载损耗标注值和实测值不符合 8.1.2.2 规定的, 评定为负载损耗不合格。

#### 8.2.2.3 短路阻抗评定准则

短路阻抗实测值不符合 8.1.2.3 规定的, 评定为短路阻抗不合格。

### 8.2.3 能效等级评定准则

能效等级标注出现下列情况之一的, 评定为能效等级不合格。

- a) 标注的能效等级不符合 5.3 对能效等级要求的;
- b) 根据空载损耗和负载损耗实测值确定的能效等级低于标注的能效等级的。

### 8.2.4 检测批评定准则

根据 GB/T 2829—2002, 取不合格质量水平  $RQL=40$ , 判别水平 I, 选择一次抽样方案, 确定合格判定数  $A_c=0$ , 不合格判定数  $R_e=1$ 。2 个检测样本中有 1 个不合格的, 评定为检测批不合格。

### 8.2.5 备用样本检测

当样本检测不合格时, 允许对备用样本进行检测, 检测结论按备用样本检测结果作出。

## 8.3 检测报告

应准确、客观和规范地报告检测结果, 出具检测报告。检测报告应包括足够的信息, 报告中的结论应按 8.2 检测结果评定准则的规定出具。检测报告应由检测执行人员、报告审核人员和报告批准人员签名 (检测报告格式见附录 F)。

### 8.3.1 检测报告中的总体结论应根据检测结果并按下列情况给出:

- a) 能源效率标识标注, 空载损耗、负载损耗、短路阻抗以及能源效率等级均为合格的, 总体结论判定为合格;
- b) 能源效率标识标注, 空载损耗、负载损耗、短路阻抗以及能源效率等级有不合格的, 总体结论判为不合格, 但应分别标出合格项和不合格项。

### 8.3.2 检测报告应至少包括以下信息:

- a) 标题;
- b) 检测机构名称和地址;
- c) 报告的唯一性标识, 每页及总页的标识;

- d) 受检单位、生产单位的名称和地址；
- e) 被测样本的描述；
- f) 进行检测的日期，被测样本的接收日期；
- g) 样本的来源，如抽样、送样等；
- h) 检测依据的技术规范；
- i) 检测所用的测量仪器的溯源性及有效性说明；
- j) 检测结论（检测批、样本）；
- k) 检测环境的描述；
- l) 检测结果及测量不确定度的说明；
- m) 检测执行人员、报告审核人员和报告批准人员的签名；
- n) 检测结果仅对样本或检测批有效的声明；
- o) 未经检测机构书面批准，不得部分复制报告的声明。



## 附录 A

## 电力变压器空载损耗测量方法

将额定频率下的额定电压（主分接）或相应分接电压（其他分接）施加于选定的绕组，其余绕组开路，但开口三角形联结的绕组（如果有）应闭合。

测量时，变压器的温度应接近于试验时的环境空气温度。

选择接到试验电源的绕组和联结方式时，应尽可能使三个心柱上出现对称的正弦波电压。

试验电压应以平均值电压表读数为准（但该表的刻度具有同一平均值的正弦波形方均根值），将平均值电压表的读数记为  $U_{\text{平均}}$ 。

方均根值电压表与平均值电压表并联。将方均根值电压表读数记为  $U_{\text{方根}}$ 。

对三相变压器试验时：

若 D（或 Y）联结绕组励磁，则电压应在各项端子间测量；

若 YN 或 ZN 联结绕组励磁，则电压应在相和中性点端子间测量。

相对相电压可以从相对地电压测量中导出，但相对中性点电压不应从相对相测量中导出。

如果  $U_{\text{平均}}$  与  $U_{\text{方根}}$  之差在 3% 以内，则此试验电压波形满足要求。

设测得的空载损耗为  $P_m$ ，则修正后的空载损耗  $P_0$  为：

$$P_0 = P_m(1 + d) \quad (\text{A. 1})$$

式中：

$$d = \frac{U_{\text{平均}} - U_{\text{方根}}}{U_{\text{平均}}}$$

如果  $U_{\text{平均}}$  与  $U_{\text{方根}}$  读数之差大于 3%，应按协议确认试验的有效性。

空载电流与空载损耗在同一绕组同时测量，对于三相变压器，取三相的平均值。

## 附录 B

## 电力变压器负载损耗测量方法

一对绕组的短路阻抗和负载损耗测量，应在额定频率下，将近似正弦波的电压施加在一个绕组上，另一个绕组短路，其他绕组（如果有）开路。宜施加等于相应额定电流（分接电流）的分接电流，但不应低于该电流的 50%。试验应尽量快速进行，以减少绕组温升所引起的误差。顶层液体与底部液体温差亦应尽量小，以使平均温度测量准确。顶层液体与底部液体温差不应大于 5 K，为了更快速得到结果，可以用泵搅拌液体。

负载损耗值还应修正到参考温度。损耗  $I^2R$  ( $R$  为绕组直流电阻) 随绕组电阻呈正比变化，而所有其他损耗与电阻成反比变化。绕组电阻测量按规定对温度进行修正。

短路阻抗用电抗和交流电阻串联表示。短路阻抗应修正到参考温度，此时，假定电抗是常数，而由负载损耗求出的交流电阻，其变化如上所述。

在分接范围超过  $\pm 5\%$  时，短路阻抗应分别在主分接和两个极限分接进行测量。

在三绕组变压器中，应在三对不同的绕组对中进行测量，并计算出各绕组的短路阻抗和负载损耗。所有绕组在规定负载下的总损耗按此法来确定。

绕组中导线在温度  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 时的直流电阻损耗的计算如下：

$$\sum I^2 R_t = I_1^2 R_{1t} + I_2^2 R_{2t} \quad (\text{B.1})$$

式中：

$I_1^2 R_{1t}$  ——一次侧绕组的直流电阻损耗；

$I_2^2 R_{2t}$  ——二次侧绕组的直流电阻损耗。

1) 绕组联结为 Y 联结时，用温度  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 时线电阻计算绕组的直流电阻损耗：

$$I^2 R_{tY} = 1.5 I_N^2 R_{\text{线}} \quad (\text{B.2})$$

用温度  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 时相电阻计算绕组的直流电阻损耗：

$$I_r^2 R_{tY} = 3 I_r^2 R_{\text{相}} \quad (\text{B.3})$$

2) 绕组联结为 D 联结时，用温度  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 时线电阻计算绕组的直流电阻损耗：

$$I_r^2 R_{td} = 1.5 I_r^2 R_{\text{线}} \quad (\text{B.4})$$

用温度  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 时相电阻计算绕组的直流电阻损耗：

$$I_r^2 R_{td} = I_r^2 R_{\text{相}} \quad (\text{B.5})$$

$K$  为温度系数：

$$K = \frac{T + \theta}{T + t} \quad (\text{B.6})$$

式中：

$T$  ——系数，铜绕组为 235、铝绕组为 225；

$t$  ——试验时绕组的温度；

$\theta$  ——需要折算到的温度；一般计算变压器的绕组电阻时都将温度折算到  $75^{\circ}\text{C}$ ，因此在计算温度系数  $K$  时  $\theta = 75^{\circ}\text{C}$ 。

负载损耗修正到参考温度 ( $75^{\circ}\text{C}$ )：

$$P_{k75} = \frac{P_{kt} + (K^2 - 1) \cdot \sum I^2 R_t}{K} \quad (\text{B.7})$$

式中：

$P_{k75}$  ——液浸式变压器参考温度 75 °C 时的负载损耗；

$P_{kt}$  ——温度为  $t$  (°C) 时的负载损耗；

$\Sigma I^2 R_t$  ——温度为  $t$  (°C) 时的直流电阻损耗。

短路阻抗是在额定频率和参考温度下，一对绕组中某一绕组之间的等效串联阻抗；其百分数等于短路电压与额定电压之比，测量时应以三相电流的算术平均值为准，如果试验电流无法达到额定电流，需折算并校正至参考温度。

$$Z_{kt} = \frac{U_{kt}}{U_r} \times \frac{I_r}{I_k} \times 100\% \quad (\text{B. 8})$$

$$Z_k = \sqrt{Z_{kt}^2 + \left(\frac{P_{kt}}{10S_r}\right)^2} \times (K_t^2 - 1) \quad (\text{B. 9})$$

式中：

$Z_{kt}$  ——绕组温度为  $t$  (°C) 时的短路阻抗，%；

$U_{kt}$  ——绕组温度为  $t$  (°C) 时通过试验电流  $I_k$  的短路电压，V；

$U_r$  ——施加电压侧的额定电压，V；

$I_r$  ——施加电压侧的额定电流，A；

$I_k$  ——施加电压侧的试验电流，A；

$Z_k$  ——绕组温度为  $t$  (°C) 时的短路阻抗，%；

$P_{kt}$  ——温度为  $t$  (°C) 时的负载损耗，W；

$S_r$  ——额定容量，VA；

$K_t$  ——电阻温度换算系数。

## 附录 C

## 电力变压器能源效率测量不确定度评定示例

依据本规范的测量方法，对电力变压器的空载损耗、负载损耗、短路阻抗的测量不确定度进行评定。

## C.1 空载损耗的测量不确定度评定

## C.1.1 测量原理和测量模型

电力变压器空载损耗如下式所示：

$$P_m = \sqrt{3} K_U U K_I I \cos\varphi \quad (\text{C.1})$$

$$P_0 = P_m (1 + d) \quad (\text{C.2})$$

式中：

$$d = \frac{U' - U}{U'}$$

$P_0$ ——校准后的电力变压器空载损耗，W；

$P_m$ ——未校准的电力变压器空载损耗测量值，W；

$K_U$ ——电压互感器的变比；

$U$ ——测得的二次线电压有效值，V；

$U'$ ——测得的二次线电压算术平均值，V；

$K_I$ ——电流互感器的变比；

$I$ ——测得的二次线电流，A；

$\varphi$ ——试验时变压器的功率因数角。

电力变压器空载损耗测量过程中，基础测量量之间的函数关系表示式记作：

$$P_0 = f(K_U, U, K_I, I, \cos\varphi) \quad (\text{C.3})$$

根据不确定度合成原理，得到合成标准不确定度的表达式：

$$u_c^2(P_0) = [u_A(P_0)]^2 + [c_{\cos\varphi} u(\cos\varphi)]^2 + [c_{K_U} u(K_U)]^2 + [c_U u(U)]^2 + [c_{K_I} u(K_I)]^2 + [c_I u(I)]^2 \quad (\text{C.4})$$

式中： $u_c(P_0)$ 为合成标准不确定度； $u_A(P_0)$ 为重复测量所引入的标准不确定度分量； $c_{\cos\varphi}$ ， $c_{K_U}$ ， $c_U$ ， $c_{K_I}$ ， $c_I$ 为各分量的灵敏系数。

## C.1.2 灵敏系数

a) 试验时变压器功率因数  $\cos\varphi$  是计算空载损耗的测量量，其灵敏系数  $c_{\cos\varphi}$  的计算公式为：

$$c_{\cos\varphi} = \frac{\partial P_0}{\partial \cos\varphi} = \sqrt{3} K_U U K_I I \cdot (1 + d) \quad (\text{C.5})$$

b) 电压互感器变比  $K_U$  是计算空载损耗的测量量，其灵敏系数  $c_{K_U}$  的计算公式为：

$$c_{K_U} = \frac{\partial P_0}{\partial K_U} = \sqrt{3} U K_I I \cos\varphi \cdot (1 + d) \quad (\text{C.6})$$

c) 二次线电压  $U$  是计算空载损耗的测量量，其灵敏系数  $c_U$  的计算公式为：

$$c_U = \frac{\partial P_0}{\partial U} = \sqrt{3} K_U K_I I \cos\varphi \cdot (1 + d) \quad (\text{C.7})$$

d) 电流互感器变比  $K_I$  是计算空载损耗的测量量，其灵敏系数  $c_{K_I}$  的计算公式为：

$$c_{K_I} = \frac{\partial P_0}{\partial K_I} = \sqrt{3} K_U UI \cos\varphi \cdot (1 + d) \quad (\text{C. 8})$$

e) 二次线电流  $I$  是计算空载损耗的测量量，其灵敏系数  $c_I$  的计算公式为：

$$c_I = \frac{\partial P_0}{\partial I} = \sqrt{3} K_U UK_I \cos\varphi \cdot (1 + d) \quad (\text{C. 9})$$

### C.1.3 标准不确定度分量的 A 类评定

对额定电压为 35 kV、额定容量为 5 000 kVA 的被测三相油浸式电力变压器进行 10 次独立的重复测量，空载损耗测量数据见表 C.1。

表 C.1 空载损耗 10 次独立测量数据

序号	空载损耗 测量值/W	序号	空载损耗 测量值/W
1	4 943.73	7	4 972.33
2	4 954.78	8	4 959.98
3	4 958.38	9	4 962.56
4	4 971.74	10	4 970.34
5	4 961.27	平均值	4 962.456
6	4 969.45	实验标准偏差	8.997

用贝塞尔公式计算测量结果，可得 A 类评定的不确定度分量，计算公式为：

$$u_A(P_0) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (P_{0j} - \overline{P_0})^2}{n-1}} = 8.997 \text{ W} \quad (\text{C. 10})$$

式中：

$u_A(P_0)$  ——空载损耗 A 类评定的标准不确定度分量，W；

$P_{0j}$  ——第  $j$  次独立测量得到的空载损耗实测值，W；

$\overline{P_0}$  —— $n$  次独立测量得到的空载损耗的平均值，W；

$n$  ——10。

### C.1.4 标准不确定度分量的 B 类评定

公式 (C.5) 至公式 (C.10) 中涉及的测量量取多次测量的平均值，计算出各个灵敏系数，从而得到各不确定度分量。

1) 变压器功率因数  $\cos\varphi$  引入的标准不确定度分量

根据功率测量仪器检定/校准证书，其准确度等级为 0.02%/2PF，按照矩形分布估计， $k = \sqrt{3}$ ，试验时变压器功率因数  $\cos\varphi$  引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(\cos\varphi) = \frac{0.02\%}{2 \times 0.3659 \times \sqrt{3}} = 1.58 \times 10^{-4} \quad (\text{C. 11})$$

引入的标准不确定度分量： $u(\cos\varphi) = \cos\varphi u_{\text{rel}}(\cos\varphi)$  (C.12)

2) 电压互感器变比  $K_U$  引入的相对标准不确定度分量

根据电压互感器检定/校准证书，电压互感器最大允许误差  $\pm 0.01\%$ ，按照矩形分布估计， $k = \sqrt{3}$ ，电压互感器变比  $K_U$  引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(K_U) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\% \quad (\text{C. 13})$$

引入的标准不确定度分量： $u(K_U) = K_U u_{\text{rel}}(K_U)$  (C.14)

3) 二次线电压  $U$  引入的相对标准不确定度分量

根据功率测量仪器检定/校准证书，其最大允许误差  $\pm 0.01\%$ ，按照矩形分布估计， $k = \sqrt{3}$ ，测得的二次线电压  $U$  引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(U) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\% \quad (\text{C.15})$$

引入的标准不确定度分量： $u(U) = U u_{\text{rel}}(U)$  (C.16)

4) 电流互感器变比  $K_I$  引入的相对标准不确定度分量

根据电流互感器检定/校准证书，电流互感器最大允许误差  $\pm 0.01\%$ ，按照矩形分布估计， $k = \sqrt{3}$ ，电流互感器变比  $K_I$  引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(K_I) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\% \quad (\text{C.17})$$

引入的标准不确定度分量： $u(K_I) = K_I u_{\text{rel}}(K_I)$  (C.18)

5) 二次线电流  $I$  引入的相对标准不确定度分量

根据功率测量仪器检定/校准证书，其最大允许误差  $\pm 0.01\%$ ，按照矩形分布估计， $k = \sqrt{3}$ ，测得的二次线电流  $I$  引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(I) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\% \quad (\text{C.19})$$

引入的标准不确定度分量： $u(I) = I u_{\text{rel}}(I)$  (C.20)

### C.1.5 合成标准不确定度

被测变压器空载损耗合成标准不确定度具体分量数据详见表 C.2。

表 C.2 空载损耗标准不确定度一览表

分量	灵敏系数	标准不确定度分量	$ c_i u_i $	分量	灵敏系数	标准不确定度分量	$ c_i u_i $
$u_A$	1	8.997 W	8.997 W	$U$	73.903 A	$3.862 \times 10^{-3} \text{ V}$	0.285 W
$\cos\varphi$	13 509.52 W	$5.774 \times 10^{-5}$	0.780 W	$K_I$	247.157 W	$1.155 \times 10^{-3}$	0.285 W
$K_U$	32.954 W	$8.661 \times 10^{-3}$	0.285 W	$I$	126 747.011 V	$2.252 \times 10^{-6} \text{ A}$	0.285 W

空载损耗合成标准不确定度：

$$u_c(P_0) = 9.049 \text{ W} \quad (\text{C.21})$$

空载损耗相对合成标准不确定度为：

$$u_{\text{crel}}(P_0) = 0.183\% \quad (\text{C.22})$$

### C.1.6 相对扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则电力变压器空载损耗相对扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}(P_0) = 0.37\% \quad (\text{C.23})$$

## C.2 负载损耗的测量不确定度

### C.2.1 测量原理和测量模型

电力变压器负载损耗 (75 °C) 如下式所示：

$$P_{\text{kt}} = \sqrt{3} K_U U K_I I \cos\varphi \cdot \left( \frac{I_r}{K_I I} \right)^2 \quad (\text{C.24})$$

$$P_{k75} = \frac{P_{kt} + (K^2 - 1) \cdot \sum I_r^2 R_t}{K} \quad (\text{C. 25})$$

$$\text{铜绕组} \quad K = \frac{235 + 75}{235 + t}$$

$$\text{铝绕组} \quad K = \frac{225 + 75}{225 + t}$$

式中：

$P_{k75}$  ——校准到参考温度 75 °C 时的负载损耗，W；

$P_{kt}$  ——温度为  $t$  (°C) 时的负载损耗，W；

$I_r$  ——施加电压侧的额定电流，A；

$K$  ——电阻温度换算系数；

$\sum I_r^2 R_t$  ——温度为  $t$  (°C) 时的直流电阻损耗：

$$\sum I_r^2 R_t = 1.5 I_N^2 R_{\text{线}} \quad (\text{C. 26})$$

电力变压器负载损耗（参考温度为 75 °C）测量过程中，基础测量量之间的函数关系表示式记作：

$$P_{k75} = f(K_U, U, K_I, I, \cos\varphi, t, R) \quad (\text{C. 27})$$

根据不确定度合成原理，得到合成标准不确定度的表达式：

$$u_c^2(P_{k75}) = [u_A(P_{k75})]^2 + [c_{\cos\varphi} u(\cos\varphi)]^2 + [c_{K_U} u(K_U)]^2 + [c_U u(U)]^2 + [c_{K_I} u(K_I)]^2 + [c_I u(I)]^2 + [c_t u(t)]^2 + [c_{R_1} u(R_1)]^2 + [c_{R_2} u(R_2)]^2 \quad (\text{C. 28})$$

式中： $u_c(P_{k75})$  为合成标准不确定度； $u_A(P_{k75})$  为重复测量所引入的标准不确定度分量； $c_{\cos\varphi}$ ， $c_{K_U}$ ， $c_U$ ， $c_{K_I}$ ， $c_I$ ， $c_t$ ， $c_R$  为各分量灵敏系数。

### C. 2.2 灵敏系数

a) 变压器功率因数  $\cos\varphi$  是计算负载损耗的测量量，其灵敏系数  $c_{\cos\varphi}$  的计算公式为：

$$c_{\cos\varphi} = \frac{\partial P_{k75}}{\partial \cos\varphi} = \frac{\sqrt{3} K_U U}{K} \times \frac{I_r^2}{K_I I} \quad (\text{C. 29})$$

b) 电压互感器变比  $K_U$  是计算负载损耗的测量量，其灵敏系数  $c_{K_U}$  的计算公式为：

$$c_{K_U} = \frac{\partial P_{k75}}{\partial K_U} = \frac{\sqrt{3} U \cos\varphi}{K} \times \frac{I_r^2}{K_I I} \quad (\text{C. 30})$$

c) 二次线电压  $U$  是计算负载损耗的测量量，其灵敏系数  $c_U$  的计算公式为：

$$c_U = \frac{\partial P_{k75}}{\partial U} = \frac{\sqrt{3} K_U \cos\varphi}{K} \times \frac{I_r^2}{K_I I} \quad (\text{C. 31})$$

d) 电流互感器变比  $K_I$  是计算负载损耗的测量量，其灵敏系数  $c_{K_I}$  的计算公式为：

$$c_{K_I} = \frac{\partial P_{k75}}{\partial K_I} = \frac{\sqrt{3} K_U U \cos\varphi}{K} \times \frac{I_r^2}{I} \times \left( -\frac{1}{K_I^2} \right) \quad (\text{C. 32})$$

e) 二次线电流  $I$  是计算负载损耗的测量量，其灵敏系数  $c_I$  的计算公式为：

$$c_I = \frac{\partial P_{k75}}{\partial I} = \frac{\sqrt{3} K_U U \cos\varphi}{K} \times \frac{I_r^2}{K_I} \times \left( -\frac{1}{I^2} \right) \quad (\text{C. 33})$$

f) 温度  $t$  是计算负载损耗的测量量，其灵敏系数  $c_t$  的计算公式为：

$$c_t = \frac{\partial P_{k75}}{\partial t} = \left( \frac{P_{kt} - \sum I_r^2 R_t}{(-K^2)} + \sum I_r^2 R_t \right) \times \frac{\partial K}{\partial t} \quad (\text{C. 34})$$

g) 绕组相电阻  $R_1$  是计算负载损耗的测量量, 其灵敏系数  $c_{R_1}$  的计算公式为:

$$c_{R_1} = \frac{\partial P_{k75}}{\partial R_1} = \frac{(K^2 - 1) \times 1.5 I_{r1}^2}{K} \quad (\text{C. 35})$$

h) 二次线电流  $R_2$  是计算负载损耗的测量量, 其灵敏系数  $c_{R_2}$  的计算公式为:

$$c_{R_2} = \frac{\partial P_{k75}}{\partial R_2} = \frac{(K^2 - 1) \times 1.5 I_{r2}^2}{K} \quad (\text{C. 36})$$

### C. 2.3 标准不确定度分量的 A 类评定

对额定电压为 35 kV、额定容量为 5 000 kVA 的被测三相油浸式电力变压器进行 10 次独立的重复测量, 负载损耗测量数据见表 C. 3。

表 C. 3 负载损耗 10 次独立测量数据

序号	负载损耗 测量值/W	序号	负载损耗 测量值/W
1	36 787.95	7	36 842.35
2	36 792.83	8	36 848.22
3	36 832.25	9	36 834.01
4	36 831.85	10	36 838.50
5	36 826.81	平均值	36 827.54
6	36 840.63	实验标准偏差	20.531

用贝塞尔公式计算测量结果, 可得 A 类评定的不确定度分量, 计算公式为:

$$u_A(P_{k75}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (P_{k75j} - \overline{P_{k75}})^2}{n-1}} = 20.531 \text{ W} \quad (\text{C. 37})$$

式中:

$u_A(P_{k75})$  —— 负载损耗 A 类评定的标准不确定度分量, W;

$P_{k75j}$  —— 第  $j$  次独立测量得到的负载损耗实测值, W;

$\overline{P_{k75}}$  ——  $n$  次独立测量得到的负载损耗的平均值, W;

$n$  —— 10。

### C. 2.4 标准不确定度分量的 B 类评定

公式 (C. 29) 至公式 (C. 37) 中涉及的测量量取多次测量的平均值, 计算出各个灵敏系数, 从而得到各不确定度分量。

1) 变压器功率因数  $\cos\varphi$  引入的相对标准不确定度分量

根据功率测量仪器检定/校准证书, 其准确度等级为 0.02%/2PF, 按照矩形分布估计,  $k = \sqrt{3}$ , 试验时变压器功率因数  $\cos\varphi$  引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(\cos\varphi) = \frac{0.02\%}{2 \times 0.0898 \times \sqrt{3}} = 0.643 \times 10^{-3} \quad (\text{C. 38})$$

引入的标准不确定度分量:  $u(\cos\varphi) = \cos\varphi u_{\text{rel}}(\cos\varphi)$  (C. 39)

2) 电压互感器变比  $K_U$  引入的相对标准不确定度分量

根据电压互感器检定/校准证书, 电压互感器最大允许误差为  $\pm 0.01\%$ , 按照矩形分布估计,  $k = \sqrt{3}$ , 电压互感器变比  $K_U$  引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(K_U) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\% \quad (\text{C.40})$$

引入的标准不确定度分量： $u(K_U) = K_U u_{\text{rel}}(K_U)$  (C.41)

3) 二次线电压  $U$  引入的相对标准不确定度分量

根据功率测量仪器检定/校准证书，其最大允许误差为  $\pm 0.01\%$ ，按照矩形分布估计， $k = \sqrt{3}$ ，测得的二次线电压  $U$  引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(U) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\% \quad (\text{C.42})$$

引入的标准不确定度分量： $u(U) = U u_{\text{rel}}(U)$  (C.43)

4) 电流互感器变比  $K_I$  引入的相对标准不确定度分量

根据电流互感器检定/校准证书，电流互感器最大允许误差为  $\pm 0.01\%$ ，按照矩形分布估计， $k = \sqrt{3}$ ，电流互感器变比  $K_I$  引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(K_I) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\% \quad (\text{C.44})$$

引入的标准不确定度分量： $u(K_I) = K_I u_{\text{rel}}(K_I)$  (C.45)

5) 二次线电流  $I$  引入的相对标准不确定度分量

根据功率测量仪器检定/校准证书，其最大允许误差为  $\pm 0.01\%$ ，按照矩形分布估计， $k = \sqrt{3}$ ，测得的二次线电流  $I$  引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(I) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\% \quad (\text{C.46})$$

引入的标准不确定度分量： $u(I) = I u_{\text{rel}}(I)$  (C.47)

6) 油温  $t$  引入的相对标准不确定度分量

根据温度计检定/校准证书，温度计最大允许误差为  $\pm 0.2\text{ }^\circ\text{C}$ ，按照矩形分布估计， $k = \sqrt{3}$ ， $t = 15.7\text{ }^\circ\text{C}$  测得的油温  $t$  引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(t) = \frac{0.2\text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3} \times 15.7\text{ }^\circ\text{C}} = 0.00735 \quad (\text{C.48})$$

引入的标准不确定度分量： $u(t) = t u_{\text{rel}}(t)$  (C.49)

7) 绕组电阻  $R_1$  引入的相对标准不确定度分量

根据直流电阻测试仪检定/校准证书，直流测试仪的准确度等级为 0.2 级，按照矩形分布估计， $k = \sqrt{3}$ ，测得的绕组电阻  $R_1$  引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(R_1) = \frac{0.2\%}{\sqrt{3}} = 0.115\% \quad (\text{C.50})$$

引入的标准不确定度分量： $u(R_1) = R_1 u_{\text{rel}}(R_1)$  (C.51)

8) 绕组电阻  $R_2$  引入的相对标准不确定度分量

根据直流电阻测试仪检定/校准证书，直流测试仪的准确度等级为 0.2 级，按照矩形分布估计， $k = \sqrt{3}$ ，测得的绕组电阻  $R_2$  引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(R_2) = \frac{0.2\%}{\sqrt{3}} = 0.115\% \quad (\text{C.52})$$

引入的标准不确定度分量： $u(R_2) = R_2 u_{\text{rel}}(R_2)$  (C.53)

## C.2.5 合成标准不确定度

被测变压器负载损耗合成不确定度具体分量数据详见表 C.4。

表 C.4 负载损耗标准不确定度一览表

分量	灵敏系数	标准不确定度分量	$ c_i u_i $	分量	灵敏系数	标准不确定度分量	$ c_i u_i $
$u_A$	1	20.531 W	20.531 W	$I$	-11 316.897 V	$1.280 \times 10^{-4}$ A	1.449 W
$\cos\varphi$	-279 456.793 W	$1.115 \times 10^{-4}$	16.135 W	$t$	-122.822 VA/°C	0.115 °C	14.190 W
$K_U$	418.254 W	$3.464 \times 10^{-3}$	1.449 W	$R_1$	4 365.739 A <sup>2</sup>	$1.745 \times 10^{-3}$ Ω	7.617 W
$U$	1 157.635 A	$1.252 \times 10^{-3}$ V	1.449 W	$R_2$	53 480.305 A <sup>2</sup>	$1.101 \times 10^{-4}$ Ω	5.888 W
$K_I$	-1 254.761 W	$1.115 \times 10^{-3}$	1.449 W				

负载损耗合成标准不确定度：

$$u_c(P_{k75}) = 31.37 \text{ W} \quad (\text{C.54})$$

负载损耗相对合成标准不确定度：

$$u_{\text{crel}}(P_{k75}) = 0.101\% \quad (\text{C.55})$$

## C.2.6 相对扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则电力变压器负载损耗扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}(P_{k75}) = 0.20\% \quad (\text{C.56})$$

## C.3 短路阻抗的测量不确定度评定

## C.3.1 测量原理和测量模型

电力变压器短路阻抗按如下式计算：

$$Z_{\text{kr}} = \frac{K_U U_{\text{kr}}}{U_r} \times \frac{I_r}{K_I I_k} \times 100\% \quad (\text{C.57})$$

式中：

$Z_{\text{kr}}$  ——绕组温度为  $t$  (°C) 时的短路阻抗，%；

$U_{\text{kr}}$  ——绕组温度为  $t$  (°C) 时通过试验电流  $I_k$  的二次短路电压，V；

$U_r$  ——施加电压侧的额定电压，V；

$I_r$  ——施加电压侧的额定电流，A；

$I_k$  ——施加电压侧的试验电流，A；

$K_U$  ——电压互感器的变比；

$K_I$  ——电流互感器的变比。

电力变压器短路阻抗测量过程中，基础测量量之间的函数关系表示式记作：

$$Z_{\text{kr}} = f(K_U, K_I, U_{\text{kr}}, I_k) \quad (\text{C.58})$$

根据不确定度合成原理，得到合成标准不确定度的表达式：

$$u_c^2(Z_{\text{kr}}) = [u_A(Z_{\text{kr}})]^2 + [c_{K_U} u(K_U)]^2 + [c_{K_I} u(K_I)]^2 + [c_{U_{\text{kr}}} u(U_{\text{kr}})]^2 + [c_{I_k} u(I_k)]^2 \quad (\text{C.59})$$

式中： $u_c(Z_{\text{kr}})$  为合成标准不确定度； $u_A(Z_{\text{kr}})$  为重复测量所引入的标准不确定度分量； $c_{U_{\text{kr}}}$ ， $c_{I_k}$ ， $c_{K_U}$ ， $c_{K_I}$  分别为各分量的灵敏系数。

## C.3.2 灵敏系数

a) 电压互感器变比  $K_U$  是计算短路阻抗的测量量，其灵敏系数  $c_{K_U}$  的计算公式为：

$$c_{K_U} = \frac{\partial Z_{\text{kr}}}{\partial K_U} = \frac{U_{\text{kr}}}{U_r} \times \frac{I_r}{K_I I_k} \times 100\% \quad (\text{C.60})$$

b) 电流互感器变比  $K_I$  是计算短路阻抗的测量量, 其灵敏系数  $c_{K_I}$  的计算公式为:

$$c_{K_I} = \frac{\partial Z_k}{\partial K_I} = \frac{K_U U_{kt}}{U_r} \times \frac{I_r}{I_k} \times \left( \frac{-1}{K_I^2} \right) \times 100\% \quad (\text{C. 61})$$

c) 二次侧短路电压  $U_{kt}$  是计算短路阻抗的测量量, 其灵敏系数  $c_{U_{kt}}$  的计算公式为:

$$c_{U_{kt}} = \frac{\partial Z_k}{\partial U_{kt}} = \frac{K_U}{U_r} \times \frac{I_r}{K_I I_k} \times 100\% \quad (\text{C. 62})$$

d) 二次侧试验电流  $I_k$  是计算短路阻抗的测量量, 其灵敏系数  $c_{I_k}$  的计算公式为:

$$c_{I_k} = \frac{\partial Z_k}{\partial I_k} = \frac{K_U U_{kt}}{U_r} \times \frac{I_r}{K_I} \times \left( \frac{-1}{I_k^2} \right) \times 100\% \quad (\text{C. 63})$$

### C. 3.3 标准不确定度分量的 A 类评定

对额定电压为 35 kV、额定容量为 5 000 kVA 的被测三相油浸式电力变压器进行 10 次独立的重复测量, 空载损耗测量数据见表 C. 5。

表 C. 5 短路阻抗 10 次独立测量数据

序号	短路阻抗 测量值/%	序号	短路阻抗 测量值/%
1	6.910	7	6.911
2	6.910	8	6.907
3	6.910	9	6.909
4	6.908	10	6.896
5	6.910	平均值	6.908
6	6.910	实验标准偏差	0.004 41%

用贝塞尔公式计算测量结果, 可得 A 类评定的不确定度分量, 计算公式为:

$$u_A(Z_{kt}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Z_{ktj} - \overline{Z_{kt}})^2}{n-1}} = 0.004 41\% \quad (\text{C. 64})$$

式中:

$u_A(Z_{kt})$  —— 短路阻抗 A 类评定的标准不确定度分量, %;

$Z_{ktj}$  —— 第  $j$  次独立测量得到的短路阻抗实测值, %;

$\overline{Z_{kt}}$  ——  $n$  次独立测量得到的短路阻抗的平均值, %;

$n$  —— 10。

### C. 3.4 标准不确定度分量的 B 类评定

公式 (C. 57) 至公式 (C. 64) 中涉及的测量量取多次测量的平均值, 计算出各个灵敏系数, 从而得到各不确定度分量。

1) 电压互感器变比  $K_U$  引入的标准不确定度分量

根据电压互感器检定/校准证书, 电压互感器最大允许误差为  $\pm 0.01\%$ , 按照矩形分布估计,  $k = \sqrt{3}$ , 电压互感器变比  $K_U$  引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(K_U) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.005 77\% \quad (\text{C. 65})$$

引入的标准不确定度分量:  $u(K_U) = K_U u_{\text{rel}}(K_U)$  (C. 66)

2) 电流互感器变比  $K_I$  引入的标准不确定度分量

根据电流互感器检定/校准证书, 电流互感器最大允许误差为 $\pm 0.01\%$ , 按照矩形分布估计,  $k = \sqrt{3}$ , 电流互感器变比  $K_I$  引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(K_I) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\% \quad (\text{C.67})$$

引入的标准不确定度分量:  $u(K_I) = K_I u_{\text{rel}}(K_I)$  (C.68)

### 3) 二次侧短路电压引入的标准不确定度分量

根据功率测量仪器检定/校准证书, 其最大允许误差为 $\pm 0.01\%$ , 按照矩形分布估计,  $k = \sqrt{3}$ , 测得的二次侧短路电压引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(U_{\text{kr}}) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\% \quad (\text{C.69})$$

引入的标准不确定度分量:  $u(U_{\text{kr}}) = U u_{\text{rel}}(U_{\text{kr}})$  (C.70)

### 4) 二次侧试验电流引入的标准不确定度分量

根据功率测量仪器检定/校准证书, 其最大允许误差为 $\pm 0.01\%$ , 按照矩形分布估计,  $k = \sqrt{3}$ , 测得的二次侧试验电流引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(I_{\text{k}}) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\% \quad (\text{C.71})$$

引入的标准不确定度分量:  $u(I_{\text{k}}) = I_{\text{k}} u_{\text{rel}}(I_{\text{k}})$  (C.72)

## C.3.5 合成标准不确定度

被测变压器短路阻抗合成不确定度具体分量数据详见表 C.6。

表 C.6 短路阻抗标准不确定度一览表

分量	灵敏系数	标准不确定度分量	$ c_i u_i $	分量	灵敏系数	标准不确定度分量	$ c_i u_i $
$u_A$	1	0.00441%	0.00441%	$U_{\text{kr}}$	0.319 V <sup>-1</sup>	0.00125 V	0.000399
$K_U$	0.115	0.00346	0.00040	$I_{\text{k}}$	-3.117 A <sup>-1</sup>	$1.79 \times 10^{-4}$ A	0.000559
$K_I$	-0.346	0.00115	0.00040				

短路阻抗合成标准不确定度:

$$u_c(Z_{\text{kr}}) = 0.00450 \quad (\text{C.73})$$

短路阻抗相对合成标准不确定度为:

$$u_{\text{crel}}(Z_{\text{kr}}) = 0.065\% \quad (\text{C.74})$$

## C.3.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 则电力变压器短路阻抗相对扩展不确定度为:

$$U_{\text{rel}}(Z_{\text{kr}}) = 0.13\% \quad (\text{C.75})$$

## 附录 D

## 电力变压器能源效率计量检测抽样单 (格式)

编号: \_\_\_\_\_

任务来源		检测类别	
检测规范		JJF 1261.20—2017《电力变压器能源效率计量检测规则》	
受检单位	单位名称	法定代表人	
	联系地址	联系人	
	邮 编	电 话	
	Email	传 真	
	营业执照	组织机构代码	
生产单位	单位名称	法定代表人	
	联系地址	联系人	
	邮 编	电 话	
	Email	传 真	
	营业执照	组织机构代码	
样本信息	样本名称	商 标	
	生产日期	规格型号	
	批 量	样 本 量	
	产品编号	封样状态	
		抽样地点	
抽样日期	寄送样要求		
抽样单位	单位名称	联 系 人	
	单位地址	联系电话	
	邮政编码	传真/Email	
需要说明的事项:			
受检单位 (公章):		生产单位 (公章):	
受检单位负责人 (签名):		生产单位负责人 (签名):	
年 月 日		年 月 日	
抽样单位/承检单位 (公章):			
抽样人 (签名):			
年 月 日			

说明: 1. 此抽样单一式四份, 分别留存承检机构、受检单位、生产单位和任务下达部门。  
2. 检测类别分为: 定期监督检查、不定期监督检查、复查监督检查、委托检测。

## 附录 E

## 电力变压器能源效率计量检测原始记录（格式）

编号：

## 1 样本信息

样本名称		型号规格	
受检单位		生产单位	
抽样地点		抽样时间	
批 量		样 本 量	
收样日期		检测日期	
委托单位		产品编号	

## 2 测量设备

测量设备名称	规格型号	准确度等级/最大允许误差/不确定度	测量范围	设备编号	证书编号

## 3 检测依据

检测依据	JJF 1261.20—2017《电力变压器能源效率计量检测规则》
------	-----------------------------------

## 4 试验条件

环境温度/℃		湿度/RH%	
频率/Hz		其他	

## 5 检测结果

检查项目	检查要求	检查结果
能源效率标识标注	电力变压器的显著位置应正确使用能源效率标识。标识应当悬挂、粘贴或固定在电力变压器明显部位。能源效率标识标注的信息应包括生产者名称（或简称）、规格型号、能效等级、空载损耗（kW）、负载损耗（75℃）（kW）和依据的能源效率强制性国家标准编号、能效信息码和能效“领跑者”信息等内容	生产者名称（或简称）： 规格型号： 能效等级： 空载损耗（kW）： 负载损耗（75℃）（kW）： 能源效率强制性国家标准编号： 能效信息码： 能效“领跑者”信息：
	能源效率标识的样式应符合电力变压器能源效率标识标注的要求，计量单位的标注应符合国家法定计量单位的要求	
样品参数		
变压器种类		额定容量/kVA
额定电压及分接范围/V		额定电流/A
额定频率/Hz		相数
联结组标号		短路阻抗/%

原始数据												
(1) 空载损耗和空载电流测量												
试验电压/V			空载电流/A						空载损耗/W			
平均值	有效值		$I_a$	$I_b$	$I_c$			$P_a$	$P_b$	$P_c$		
$I_0/A$			$I/\%$			$P_m/W$			$P_0/W$			
检测人员：			核验人员：									
(2) 负载损耗和短路阻抗测量												
直流电阻损耗计算										油温：      °C		
高压	分接位置	直流电阻值/ $\Omega$	电阻损耗值/W	参考容量	电阻损耗值/W	参考容量						
中压	分接位置	直流电阻值/ $\Omega$	电阻损耗/W	参考容量	电阻损耗值/W	参考容量						
低压	分接位置	直流电阻值/ $\Omega$	电阻损耗/W	参考容量	电阻损耗值/W	参考容量						
试验数据												
绕组对	V				A				W			
	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$	均值	$I_a$	$I_b$	$I_c$	均值	$P_a$	$P_b$	$P_c$	$\Sigma P$
h. v-m. v												
h. v-l. v												
m. v-l. v												
负载损耗和短路阻抗计算					温度修正系数： $K =$				$K^2 - 1 =$			
绕组对	短路阻抗	$(I_r/I_k)^2 \times P_k$ (W)			$\Sigma I_r^2 R/W$			$P_{k75^\circ C}/W$				
h. v-m. v												
h. v-l. v												
m. v-l. v												
检测人员：			核验人员：									

测量结果		
1	短路阻抗/%	
2	空载损耗/kW	
3	负载损耗/kW	
检测项目	合格评定准则	检测结果
空载损耗/ kW	实测值 $\leq$ 标注值 $+U(P_0)$ ，且 实测值 $\leq$ 限定值 $+U(P_0)$	空载损耗标注值： 空载损耗实测值： 空载损耗限定值： 空载损耗测量不确定度 $U(P_0)$ ：
负载损耗/ kW	实测值 $\leq$ 标注值 $+U(P_{k75})$ ，且 实测值 $\leq$ 限定值 $+U(P_{k75})$	负载损耗标注值： 负载损耗实测值： 负载损耗限定值： 负载损耗测量不确定度 $U(P_{k75})$ ：
短路阻抗	1) 有两个独立绕组的变压器；或多绕组变压器中规定的 第一对独立绕组，对于主分接，当阻抗值 $\geq 10\%$ 时， 为 $\pm 7.5\%$ ；当阻抗值 $< 10\%$ 时，为 $\pm 10\%$ ； 2) 自耦联结的一对绕组；或多绕组变压器中规定的 第二对绕组，对于主分接，为规定值的 $\pm 10\%$ ； 对于其他分接，为设计值的 $\pm 10\%$ ； 3) 其他绕组对，按协议，绝对值不小于 $15\%$	短路阻抗规定值： 短路阻抗实测值：
能效 等级	标注的能效等级应符合 JJF 1261.20—2017 的 5.3 对能效等级的要求； 根据空载损耗和负载损耗实测值确定的能效等级应 不低于标注的能效等级	标注的能效等级： 计量检测确定的能效等级：

编号：



附录 F

电力变压器能源效率计量检测报告（格式）

# 电力变压器 能源效率计量检测报告

样本名称 \_\_\_\_\_  
型号规格 \_\_\_\_\_  
受检单位 \_\_\_\_\_  
生产单位 \_\_\_\_\_  
检测类别 \_\_\_\_\_  
检测单位 \_\_\_\_\_

## 声 明

1. 本单位是国家法定计量检定机构，计量授权证书编号为××××。
2. 本单位用于电力变压器能源效率计量检测的测量装置及其测量仪表具有有效的检定、校准证书，其量值可溯源到国家计量基准。
3. 本报告无检测单位的检测专用章或公章无效。
4. 本报告无主检人、审核人、批准人签名无效。
5. 本报告涂改无效。
6. 复制本报告未重新加盖检测单位的检测专用章或公章无效。
7. 对检测报告若有异议，应于收到报告之日起十五日内向出具报告单位提出，逾期视为认可检测结果。
8. 本报告仅对本检测样本（检测批）负责。

检测单位：  
地址：  
电话：  
电子信箱：

联系方式：  
邮编：  
传真：  
投诉电话：

报告编号  
共 页 第 页

## 1 抽样情况

样本名称		型号规格	
受检单位		生产单位	
抽样地点		抽样时间	
批 量		样 本 量	
收样日期		检测日期	
委托单位		产品编号	

## 2 检测用主要测量设备一览表

测量设备名称	规格型号	准确度等级/最大允许误差/不确定度	测量范围	设备编号	证书编号

## 3 检测依据

依据文件及编号	JJF 1261.20—2017《电力变压器能源效率计量检测规则》
---------	-----------------------------------

## 4 试验条件

环境温度/℃		湿度/RH%	
频率/Hz			

报告编号  
共 页 第 页

## 5 检测结果

## 5.1 能源效率标识标注

检查项目	检查要求	检查结果	判定
能源效率标识标注	<p>电力变压器的显著位置应正确使用能源效率标识。标识应当悬挂、粘贴或固定在电力变压器明显部位。能源效率标识标注的信息应包括生产者名称（或简称）、规格型号、能效等级、空载损耗（kW）、负载损耗（75℃）（kW）和依据的能源效率强制性国家标准编号、能效信息码和能效“领跑者”信息等内容。</p> <p>能源效率标识的样式应符合电力变压器能源效率标识标注的要求，计量单位的标注应符合国家法定计量单位的要求</p>	生产者名称（或简称）： 规格型号： 能效等级： 空载损耗（kW）： 负载损耗（75℃）（kW）： 能源效率强制性国家标准编号： 能效信息码： 能效“领跑者”信息：	

## 5.2 能效指标（能源消耗量）

检测项目	检测要求	检测结果	判定
空载损耗/ kW	$\text{实测值} \leq \text{标注值} + U(P_0)$ ，且 $\text{实测值} \leq \text{限定值} + U(P_0)$	空载损耗标注值： 空载损耗实测值： 空载损耗限定值： 空载测量不确定度 $U(P_0)$ ：	
负载损耗 (75℃)/kW	$\text{实测值} \leq \text{标注值} + U(P_{k75})$ ，且 $\text{实测值} \leq \text{限定值} + U(P_{k75})$	负载损耗标注值： 负载损耗实测值： 负载损耗限定值： 负载测量不确定度 $U(P_{k75})$ ：	
短路阻抗	1) 有两个独立绕组的变压器；或多绕组变压器中规定的第一对独立绕组，对于主分接，当阻抗值 $\geq 10\%$ 时，为 $\pm 7.5\%$ ；当阻抗值 $< 10\%$ 时，为 $\pm 10\%$ ； 2) 自耦联结的一对绕组；或多绕组变压器中规定的第二对绕组，对于主分接，为规定值的 $\pm 10\%$ ；对于其他分接，为设计值的 $\pm 10\%$ ； 3) 其他绕组对，按协议，绝对值不小于 $15\%$	短路阻抗规定值： 短路阻抗实测值：	

报告编号

共 页 第 页

## 5.3 能效等级

检测项目	检测要求	检测结果	判定
能效等级	标注的能效等级应符合 JJF 1261.20—2017 的 5.3 对能效等级的要求； 根据空载损耗和负载损耗实测值确定的能效等级应不低于标注的能效等级	标注的能效等级： 计量检测确定的能效等级：	

## 6 结论

- 6.1 能源效率标识标注的结论：
- 6.2 电力变压器空载损耗的结论：
- 6.3 电力变压器负载损耗（75℃）的结论：
- 6.4 电力变压器短路阻抗的结论：
- 6.5 能效等级的结论：
- 6.6 总体结论：

## 7 报告说明

主检人员（签字）：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

审核人员（签字）：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

批准人员（签字）：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

## 附件：

1. 能源效率标识
2. 样本铭牌（照片）
3. 样本外观照片

报告编号  
共 页 第 页